



Hitri vtični moduli – 100Gb do 800Gb in hitreje

Pregled stanja tehnologije in novosti pri
vtičnih modulih visokih hitrosti

Jan. 2023

Peter Reinhardt, peter.reinhardt@xenya.si

The XENYA logo is located in the bottom right corner. It features the word "XENYA" in a bold, blue, serif font, with the letters "X", "E", and "Y" being significantly larger than the others.

Poudarki predstavitve

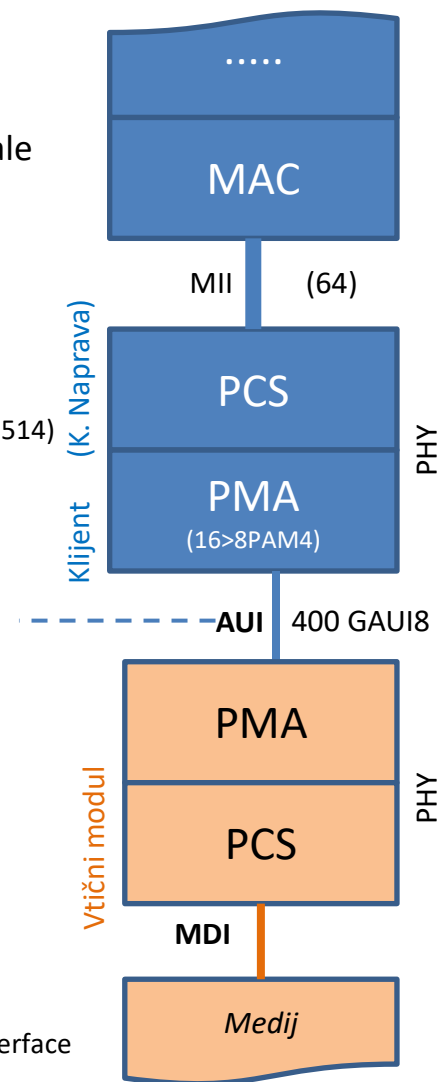
- Tehnologije, ki omogočajo izvedbo hitrih vtičnih modulov
- Spremembe pri upravljanju modulov CMIS, C-CMIS
- Pregled osnovnih tipov najbolj pogosto uporabljenih modulov za lokalne povezave
- Pregled glavnih lastnosti modulov za dolge povezave (400G-ZR in 400G-ZR+)
- Pregled zahtev, ki jih morajo izpolnjevati optični transportni sistemi, za uspešno delo na dolge razdalje
- Diagnostika dolgih povezav, Paketni transportni sistemi
- Novosti glede vtičnih modulov

FEC – korekcija napak

- Bistvena funkcija za izvedbo uporabnih hitrih vtičnih modulov
 - Cenovno najbolj ugodna rešitev za povečanje zanesljivosti hitrih prenosov
- FEC na linijski strani je FEC nujen
 - Efektivno izboljša dinamiko prenosa za 4-11,6 dB
 - Standarni BER brez FECa se gibljejo med $2.0E-5$ do $2.0E-2$
 - Prva generacija: G.709, LL-FEC
 - Druga generacija ST-FEC, SD-FEC, CFEC,
 - Tretja generacija: oFEC, RS-BCH
 - oFEC, nepogrešljiv za 400Gb in hitrejši prenosi na večje razdalje
 - FEC algoritm, ki bazira na korekciji (PCS) blokov podatkov z dodatno tro-stopensko SD (Soft Decision) korekcijo
 - 11.6dB efektivnega ojačanja (za DP-16QAM)
 - Korigira BER $2.0E-2$ pred FEC na BER $10E-12$ ali boljše
 - Latenca prehoda prek obeh strani $<3\mu s$
 - Za 400Gb prenosa zahteva DSP najnovejše generacije (7nm geometrija, visoka poraba)
- FEC na električni strani
 - Visoke hitrosti povzročijo visoka dušenja na kratkih poteh (28-30dB), kar zniža SNR
 - Zaradi uporabe PAM4 se SNR na električni strani še dodatno zniža in BER poveča – potrebna korekcija
 - 25Gb: Brez ali z RS-KR-FEC [RS(528,514,t=7, N10)],
 - 50Gb: RS-KP-FEC [RS(544, 514, t=15, N10)]
 - IEEE 802.3 Clause 91

Vmesniki in modulacije na klientni strani

- Na klientni (električni) strani morajo biti prenosi izvedeni prek več vzporednih poti 1,2,4,8,16 ker so hitrosti podatkov previsoke, da bi bilo mogoče prenašati te signale povsem serijsko
- Zaradi paralelnih prenosov in velikih hitrosti so potrebni dodatni protokolni nivoji
 - **PCS (Physical Coding Sublayer)**
 - Pretvorba iz 64/66 kodiranja na MII nivoju v bolj učinkovito 256/257 kodiranje v PCS nivoju, GMP (gearbox funkcije), ki omogočajo kompatibilnost s počasnejšimi kodiranjmi in sinhronizacijo pri različno hitrih urah na obeh straneh
 - vstavljanje OH, AM¹, ki omogočajo sinhronizaciji med potmi in identifikacijo začetka PCS bloka,
 - FEC korekcijo (), ki je potrebna zaradi znižanega SNR zaradi uporabe PAM4 enkodiranja RS(544,514)
 - Za 400Gb IEEE802.3bs c. 119,
 - **PMA (Physical Medium Attachment)**
 - Pretvorba 16 NRZI kanalov v 8 PAM4
 - Za 400Gb IEEE802.3bs c.120
- Pri izvedbi hitrejših protokolov se kombinira in ponovno uporablja protokole nižjih hitrosti s čim manj dodatki
 - 2x GMP100 za prenos 200Gb, 2x 200Gb za prenos 400Gb, 2x400Gb PCS za prenos 800Gb ...
 - To omogoča lažjo implementacijo, ponovno uporabo že razvitih in preizkušenih komponent in kompatibilnost s počasnejšimi protokoli
- Vtični modul in komunikacijska naprava sta na PMA nivoju povezana prek AUI vmesnika (Attachement Unit Interface). Za Ethernet signale:
 - do 28Gbit je to CAUI vmesnik: 25Gb/pot; prim.: **100 CAUI-4** -100Gb NRI, FEC RS-(528,514, T=7, N=10) kot opcija (RS-KR FEC)
 - do 56Gbit je to GAUI vmesnik: 50Gb/pot; prim: **400 GAUI-8** – 400Gb PAM4, obvezen FEC RS(544,514, T=15, N=10) (RS-KP FEC)
 - Do 112Gb: do56Gbaud+ PAM4 -**OIF-CEI-112G-MR** Meadium reach ali **OIF-CEI-112G-LR** Long Reach Interface + PAM4 z ES-KP FEC
 - Do 224Gb: do 112Gb + PAM4 so specifikacije še v pripravi



Standardi in dogovori

- IEEE v okviru 802.3 grupe zagotavlja standarde, ki določajo lastnosti raznih tipov komunikacijskih vmesnikov.
- Žal standardi večinoma zaostajajo za dejanskimi produkti, ki so že na voljo in se uporabljajo v praksi
- OIF dopolnjuje te standarde z implementacijskimi dogovori, ki so običajno izdani hitreje

Standard	50GE PAM4	100GE PAM4	200GE	400GE
CR (3m/5m) DAC – electrical	802.3cd 50GBASE-CR 50G PAM4	802.3cd 100GBASE-CR2 2x50G PAM4	802.3cd 200GBASE-CR4 4x50G PAM4	Ethernet Consortium 400GBASE-CR8/KR8 8x50G PAM4
SR (100m)	802.3cd 50GBASE-SR 50G PAM4 MMF	802.3cd 100GBASE-SR2 2x50G PAM4 MMF	802.3cd 200GBASE-SR4 4x50G PAM4 MMF	802.3bs 400GBASE-SR16 16x25G NRZ MMF 802.3cm 400GBASE-SR8 8x50G PAM4 MMF
DR (500m)	TBD	802.3cd 100GBASE-DR 1x100G PAM4 SMF	802.3bs 200GBASE-DR4 4x50G PAM4 SMF	802.3bs 400GBASE-DR4 4x100G PAM4 SMF
FR/LR (2km/10km)	802.3cd 50GBASE-FR/LR 1x50G PAM4 SMF	TBD	802.3bs 200GBASE-FR/LR4 4x50G PAM4 SMF	802.3bs 400GBASE-FR/LR8 8x50G PAM4 SMF
ER (40 km)			802.3cn 200GBASE-ER8 4x50G PAM4 SMF	802.3cn 400GBASE-ER8 8x50G PAM4 SMF
ZR (80 km)				802.3cw 400GBASE-ZR TBD



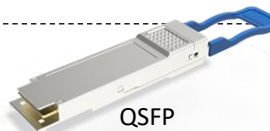

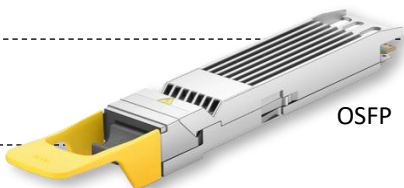
IEEE 802.3 standardi, ki regulirajo 50-400GE vmesnike

- Nekateri novejši pomembni Standardi in dogovorjena pravila (MSA) za hitre vtične module
 - OIF¹-400ZR-Implementation agreement, OIF CMIS Common Management Interface V5.5, Coherent extension C-CMIS V1.2, OIF-CEI – Common Electrical I-O
 - OpenZR+ MSA Specifications, v2.0
 - QSFP-DD-Hardware-Rev6.3-final, SNIA SFF Specifications (SFF-8636 ...), SFP-DD Specification V5.1
 - IEEE: Za 100-400Gb **IEEE802.3bs**, za 800Gb in 1.6Tb **IEEE 802.3df**



Pakiranje vtičnih modulov

in glavne lastnosti

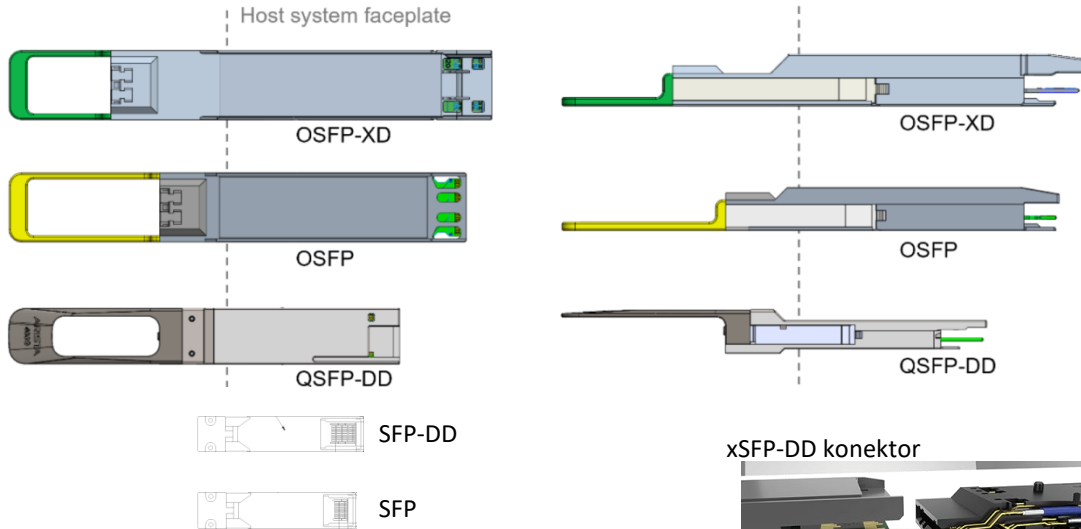
Ime pakiranja	Št. par. poti (lanes)	Max s. h./pot [Gbaud]	Tipi vmesnika na strani klienta	Max. Disipacija [W] ²	Podprte Ethernet hitrosti [Gb]	Slika
SFP28	1	28	CAUI-1	5.5	1, 10, 25	 SFP
SFP112	1	112 ¹	112LR-1	5.5	100	 SFP-DD
SFP-DD	2	56	CAUI-2, GAUI-2	5.5	50, 100	
SFP-DD112	2	112	GAUI-2, 112LR-2	5.5	100, 200	
QSFP28	4	28	CAUI-4	6	4x1,4x10,4x25,2x50,50,100	 QSFP
QSFP56	4	56	CAUI-4, 2xGAUI-2, GAUI-4	6	4x1,4x10,4x25,2x50,50,100,200	
QSFP-DD	8	28	4x CAUI-2, 2x CAUI-4, CAUI-8	14, 24	8x25,4x50,100,200	 QSFP-DD
QSFP-DD800	8	56	4x CAUI-2, 2x CAUI-4, CAUI-8 4x GAUI-2, 2x GAUI-4, GAUI-8	14, 24	8x25,4x50,100,200,400,800	
OSFP(800)	8	56	4x CAUI-2, 2x CAUI-4, CAUI-8 4x GAUI-2, 2x GAUI-4, GAUI-8	30	100, 200, 400, 800	 OSFP
OSFP1600 OSFP-XD	16	112	GAUI-16, 112LR-16, 224LR-8	40	100, 200, 400, 800, 1600, 3200	

1 Hitrejši moduli podpirajo tudi vse počasnejše prenose

2 Poraba je določena v 4 do 8 razredih porabe, tu je naveden najvišji fiksni razred in najvišja poraba, ki jo lahko specificira modul v variabilnem razredu

Glavne lastnosti novih tipov pakiranja

- Primerjava velikosti: QSFP-DD OSFP OSFP1600 OSFP-XD SFP-DD SFP



- OSFP:
 - Večja dovoljena disipacija (30W)
 - Boljše vodenje hitrih signalov, hitrejši vmesniki do 224Gb
 - Dvo funkcijski (3 nivijski) počasni signali
 - Še vedno podpira vgradnjo 32 modulov v 1U stikalu
 - Možen Adapter QSFP-DD v OSFP
- OSFP-XD
 - 16 vzporednih poti
 - Večja dovoljena disipacija (40W)

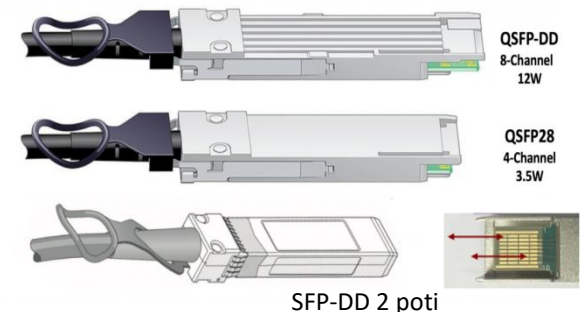
- SFP-DD, SFP-DD112 :

- Večja dovoljena disipacija (5.5W)
- Hitrejši klijentni vmesniki (28, 56, 112 Gb)
- Vtično mesto podpira vgradnjo SFP28, SFP+ in SFP modulov
- Uporabljen predvsem v deljenih AOC in bakrenih kabih
- Omogoča izvedbo 48 200Gb priključkov v 1U napravi

- SFP112:

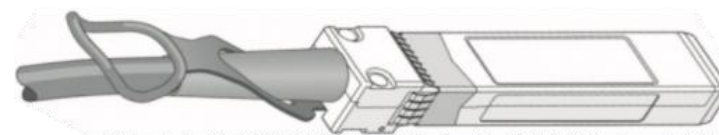
- Večja dovoljena disipacija (5.5W)
- Vtično mesto podpira vgradnjo vseh počasejših SFPx modulov
- Uporabljen predvsem v deljenih AOC in bakrenih kabih

- Primerjava velikosti: QSFP-DD QSFP28 in SFP-DD



Deljeni 100Gb priključki – 4x 25Gb, 2x50Gb

- Pakiranja SFP/SFP+/SFP28
 - 1 sled, do 25Gb/s
 - SFP prenos do 100Mb/s- 4Gb/s
 - SFP+ prenos 8Gb/s, 10Gb/s, 16Gb/s
 - SFP28 – prenos do 25Gb/s
 - SFP112 – prenos do 100Gb/s
- SFP-DD : SFP56-DD, SFP112-DD
 - 2 sledi, 2x25Gb/s ali 2x 50Gb/s ali 2x 100 Gb/s izvedene z dvojnim konektorjem razporejenim po globini
 - prenos 50,100,200 Gb/s
 - Poraba do 3.5W
 - Predvsem uporabljen za deljene povezave 200Gb/s QSFP28 na 2x 100Gb SFP-DD, večinoma kot DAC kabel
- Priključek stikala je lahko kompatibilen s starejšimi vtičnimi moduli
 - QSFP28 priključek z
 - SFP: 1-4G, (1,2,4 FC)
 - SFP+;, 10G, (8G,16G FC),
 - SFP28: 25G
 - SFP-DD priključek z
 - SFP/SFP+QSFP28: z vsemi zgoraj naštetimi in
 - SFP-DD: 50Gb (2x25Gb, 1x50Gb) in 100Gb (2x50Gb)



SFP-DD
dve poti

Upravljanje vtičnih modulov

- Stari tipi modulov: SFP, SFP+, QSFP+, QSFP28, QSFP56
 - Upravljanje prek spominsko mapiranih registrov v emuliranem I2C eepromu, 256 znakov razdeljenih na 2 strani
 - spodnja za identifikacijo, pomembne parametre, nadzorujejo delovanje modula in del diagnostike, vedno dostopna, zgornja mapira več (prek page registra) strani za razširjene funkcije, diagnostiko...
 - diagnostika se prikazuje kot registri za branje v istem pomnilniku
 - Zaščita je večinoma le geslo, ki dovoljujejo pisanje/branje določenih delov pomnilnika
 - Večina parametrov opisanih v SNIA dokumentih (npr. SFF-8636)
- Novi tipi modulov: SFP-DD, QSFP-DD, OSFP, OSFP-XD
 - Upravljanje prek **CMIS** protokola (Common Management Interface Specification)¹
 - CMIS protokol za komunikacijo z modulom še vedno uporablja I2C protokol, in emuliran spominski vmesnik (256 znakov, 2 strani...)
 - Lokacije diagnostičnih registrov so različne kot registri z isto funkcionalnostjo v starih tipih modulov
 - Zadnja verzija je V5.2. Izvedbe z verzijo V3.0 in nižje niso skladne z V4.0 in višjimi. Nekatere funkcije med glavnimi verzijami prav tako niso skladne

1 OIF-CMIS-05.2 – Common Management Interface Specification (CMIS) Revision 5.2 (April 2022)

CMIS

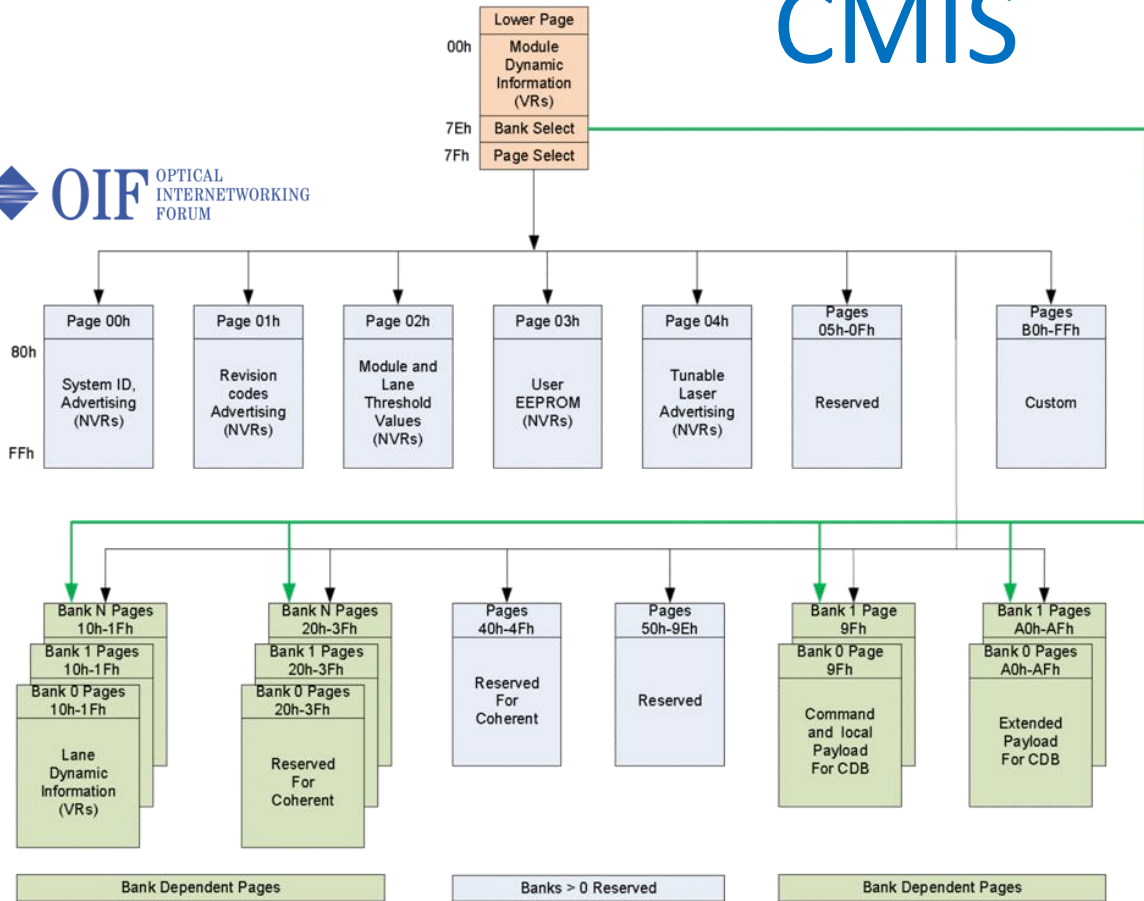
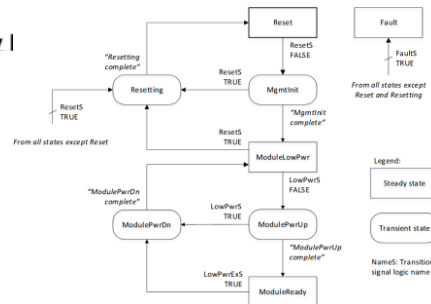


Figure 8-1 CMIS Module Memory



- Modul predstavi svoje sposobnosti napravi prek Advertising funkcij
- Isti Modul lahko podpira več različnih načinov dela (t.i. Aplikacij)
- V opisu Aplikacije se lahko ločeno določa način dela na klientni strani in način dela na linijski strani
- Odvisno od modula je lahko hkrati aktivnih več aplikacij
- Podpira izvedbo CDB ukazov, ki lahko prenašajo parametre in izvajajo kompleksne funkcije. Nekaj standardnih CDB ukazov:
 - Nadgradnja FW modula
 - Več nivojev detaljne diagnostike
 - BERT testi
 - Specifične funkcije za posameznega proizvajalca

Modul ima stanje spanja in aktivno stanje med katerimi prehaja v skladu s končnim avtomatom modula (MSM) prikazanim levo. Nekatere funkcije so podprte le v določenih stanjih modula.

CMIS Koherentnih modulov



- Koherentni moduli podpirajo dodatne nastavitve in diagnostične funkcije, ki se jih krmili prek ukazov specificiranih v C-CMIS¹ specifikaciji.

Trenutno veljavna verzija C-CMIS je V1.2

- Dodatni Ukazi podpirajo:
 - Nastavitve parametrov koherentne modulacije
 - Nastavitve pragov optičnih nivojev za alarmiranje
 - Izbor FEC algoritmov tako na strani klijenta kot na strani linije
 - Detaljni diagnostični parametri linije (za vsako pot ločeno) med njimi:
 - Prikaz Optičnih moči oddajnih in sprejemnih signalov, prage za alarme
 - Prikaz Izmerjene CD linije in DGD signla
 - Odstopanje dejanske valovne dolžine od standardne vrednosti kanala
 - Izmerjeno Pol. Odv. duš. (PDL) linije
 - Izmerjen OSNR linije
 - Izmerjen SNR na električni strani (ESNR)
 - Prikaz SNR za posamezne poti na klijentni (električni) strani
 - Statistiko napak FEC vključno z številom popravljenih napak, in BER pred FECOM na linijski in klijentni strani²
 - Hitrost rotacije polarizacije signala
 -

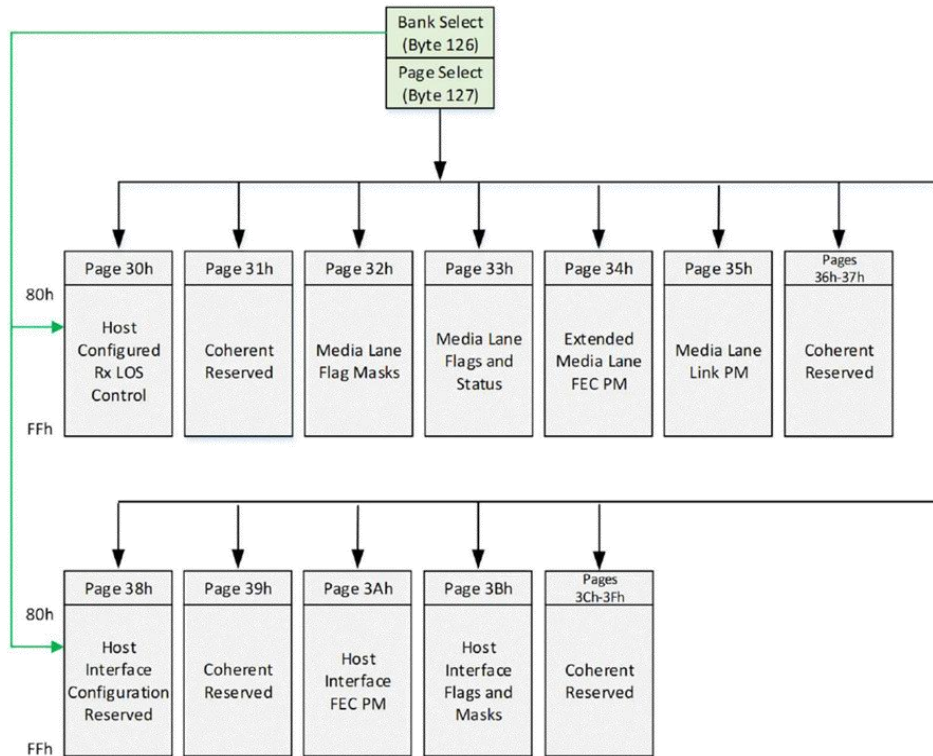


Figure 1: Diagram of Coherent Pages Extending CMIS Memory Map

- 1 OIF-C-CMIS-01.2 – Implementation Agreement for Coherent CMIS (March 2022)
- 2 Po intervalih, v 64bitnih števcih, k.naprava računa skupno statistiko

Kompatibilnost modulov in kablov

- Poleg parametrov, ki vplivajo na delovanje modula je v krmilnem lahko delu zapisna še dodatna vsebina ki jo proizvajalec preverja :
 - Proizvajalec
 - Oznaka modula
 - Serijska številka
 - Specifični parametri
 - Dodatna vsebina specifična za proizvajalca komunikacijske opreme
- V redkih primerih je modul spremenjen tudi na strojnem nivoju
- Vsi zgoraj naštetih parametri in vsebine moraj biti pravi, da komunikacijska naprava zazna modul kot lasten (kompatibilen) modul. Če ga ne, ne deluje v opremi ali deluje z omejeno funkcionalnostjo ali ne zagotavlja tehnične podpore za opremo (tudi če delovanje modula ni sporno)
- Pri standardnih generičnih modulih je mogoče vsebino modula spreminjati z ustreznim programatorjem (tudi na terenu), tako da se vsebino enega generičnega modula lahko prilagodi zahtevam različnih proizvajalcev
- Pri modulih velikih hitrostih so nekateri proizvajalci opreme ločili kompatibilnost modula od licenc za pasovno širino in dovoljujejo uporabo vseh skladnih modulov
- Drugi proizvajalci napovedujejo da bodo pričeli vpisovati digitalne certifikate v module – kar zahteva vgradnjo dodatnega identifikacijskega čipa v sam modul (Brocade)

Generične IEEE oznake tipov vtičnih modulov

- Modulacija (NRZ), PAM4, Koherentni
- Pakiranje (SFP, SFP28, SFP-DD, SFP56-DD, QSFP28-DD, QSFP56-DD, OSFP, OSFP112)
- Hitrost prenosa (25, 50, 100, 200, 300, 400, 800 Gb, 1.6T, 3.2T)
- Standardni tipi modulov z IEEE oznako tipa (beli del):

<Pakiranje> <d>G-<x><y>

<d> Hitrost		<x> Doseg			<y> Število kanalov
10	100	SR, PMM	100m	P (MM)	število nosilcev: Parov (P) optičnih vlaken ali Število valovnih dolžin (V) (1),2,4,8,16
25	200	DR, PSM	500m	P (SM)	
50	400	FR	2 km	V	
	800	LR	10 km	V	
		ER	40 km	V	
		ZR	80 km +	V	

Pregled tipov hitrih modulov

del standardnih nekoherentnih modulov

- Kabli
 - Bakreni (DAC): pasivni, aktivni (uporaba zaradi: cene, zakasnitve)
 - Direktni priključek–priključek : 100Gb (CAUI) do 3m, 200Gb (GAUI) do 2m, 200Gb (112LR) do 1m, če stikalo podpira AN & LT¹
 - Deljeni Y - En priključek na več delnih priključkov
 - Aktivni optični kabli AOC
 - Direktni razdalje do 100m in več
 - Deljeni Y - En priključek na več delnih priključkov,
 - Deljeni H - Več delnih se križno vežejo na več delnih priključkov (uporaba v RC Spine/Leaf povezavah)
- Širokopasovni Moduli
 - Vtični moduli za kratke povezave (<40km, ena povezava /par ali več parov)
 - 100g: SR4 (100m), PSM4 (500m), FR4 (2km), LR4 (10km), CWDM4 (2,10km)
 - 200g: SR4 (100m), SR8 (100m), PSM8 (2km,10km), FR4 (2km), LR8 (10km,20km)
 - 400g, 800g: SR8 (100m), PSM8 (500m,2km,10km), FR8 (2km), LR8 (10km,20km,)
 - Široko pasovni vtični moduli za daljše povezave (≥40km, ena povezava/par)
 - 100Gb: CWDM4 (40km), ER4 (40km), ZR4 (80km), 4WDM-10 (120km)
- Moduli, ki z eno od WDM tehnologij omogočajo prenos večjega števila povezav prek ene fizične povezave (optičnega vlakna ali para)
 - WDM (NRZ),
 - 25Gb DWDM (15km)
 - PAM4 DWDM (80km),
 - O Band DWDM (80km) ,
 - Koherentni moduli v nadaljevanju

¹ Line Training –Protokol, ki prilagodi parametre preemphasis karakteristikam medija.
Je nujen za 112 Gbaud prenos na večje razdalje. (IEEE802.3 clause 162 za 112G SerDes)

Standardne oznake prikazane v tabeli



	Backplane	Twinax Cable	15-40m(OT) Single Twisted Pair	>100m (OT) Single Twisted Pair	100m (IT) Twisted Pair (2/4 Pair)	MMF	500m PSM4	2km SMF	10km SMF	20km SMF	40km SMF	80km SMF	Electrical Interface	Pluggable Module
10BASE-	T1S		T1S	T1L	T									
100BASE-			T1	T1L*	T									
1000BASE-			T1		T									
2.5GBASE-	KX		T1		T									
5GBASE-	KR		T1		T									
10GBASE-			T1		T				BIDI Access	BIDI Access	BIDI Access			
25GBASE-	KR1 KR	CR1 CR/CR-S	T1		T (30m)	SR			LR EPON BIDI Access	EPON BIDI Access	ER BIDI Access		25GAUI	SFP
40GBASE-	KR4	CR4			T (30m)	SR4/eSR4	PSM4	FR	LR4				XLAUI XLPPi	QSFP
50GBASE-	KR2 KR	CR2 CR	T2			SR		FR	EPON BIDI Access LxR	EPON BIDI Access	BIDI Access ER		LAUI-2/50GAUI-2 50GAUI-1	SFP/QSFP
100GBASE-	KR4 KR2 KR1	CR10 CR4 CR2 CR1	T4			SR10 SR4 SR2 VR1 SR1	PSM4 DR	CWDM4 FR1	LR4 4WDM-10 LR1	4WDM-20	ER4 4WDM-40	ZR	CAUI-10 CPPI CAUI-4/100GAUI-4 100GAUI-2 100GAUI-1	SFP QSFP/QSFP-DD OSFP
200GBASE-	KR4 KR2	CR4 CR2 CR1*				SR4 VR2 SR2	DR4 1 pair*	FR4 1 pair*	LR4		ER4		200GAUI-4 200GAUI-2 200GAUI-1*	QSFP/QSFP-DD SFP-DD
400GBASE-	KR4*	CR4 CR2*				SR16 SR8/SR4.2 VR4 SR4	DR4 2 pair*	FR8 FR4 400G-FR4	LR8 LR4-6 400G-LR4-10		ER8	ZR	400GAUI-16 400GAUI-8 400GAUI-4 400GAUI-2*	QSFP/QSFP-DD OSFP
800GBASE-	ETC-KR8 KR8*	ETC-KR8 CR8* CR4*				VR8* SR8*	8 pair* 4 pair*	8 pair* 4 pair* 4 lambda*	TBD*		TBD*		800GAUI-8* 800GAUI-4*	
1.6TBASE-		CR8*					8 pair*	8 pair*					1.6TAUI-16* 1.6TAUI-8*	QSFP/QSFP-DD OSFP/OSFP-DD

Gray Text = IEEE Standard Red Text = In Task Force Green Text = In Study Group

Blue Text = Non-IEEE standard but complies to IEEE electrical interfaces

* Note: As of publication, subject to change

Primeri: QSFP, QSFP28, QSFP56 NRZ

Primeri nekaterih širikopasnih 100Gb, 200Gb vtičnih modulov

- Nadgradnja QSFP+ 4x10Gb/s
- QSFP28 – 4x25Gb/s -100Gb
- QSFP56 – 4x25Gb/s -200Gb
 - MM -100m, brezbarvni LX, 2, 10Km
 - CWDM (okoli 1310nm) – 2km do 10km

Tip in hitrost	Doseg	Ohišje	Konektor	Vlakno
100G SR4	100 m	QSFP28	MPO	MMF
100G MM Duplex	100 - 300 m	QSFP28	MPO	MMF
100G eSR4	300 m	QSFP28	MPO	MMF
100G PSM4	500 m	QSFP28	LC	SMF
100G DR/DR+	500m, 2km	QSFP28	LC	SMF
100G CWDM4	2 km	QSFP28	LC	SMF
100G FR1	2 km	QSFP28	MPO	SMF
100G LR4 and LR1	10 km	QSFP28	LC	SMF
100G 4WDM10	10 km	QSFP28	LC	SMF
100G 4WDM20	20 km	QSFP28	LC	SMF
100G ER4-Lite	30 km	QSFP28	LC	SMF
100G ER4	40 km	QSFP28	LC	SMF
100G ZR4	80 km	QSFP28	LC	SMF
200G SR4	100 m	QSFP56	MPO	MMF
200G FR4	3 km	QSFP56	MPO	SMF

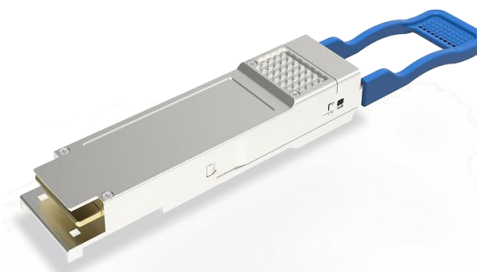
- Paralelne Valovne dolžine:
 - SR4 100m-2km,
 - LR4 (2-10)km, ER4 (20-40km)
 - FR4, ZR4 4 val. dolžine v bližini 1310nm CWDM, NWDM (60-100km, 100Gb)
- paralelne parice 1-8
 - PMM večrodne (100m)
 - PSM enorodne (500m)
- O-Band DWDM 200GHz, 150GHz razmik do 12 kanalov (do 3 povezave prek ene parice)



QSFP28, 100G ZR4, NRZ

Primer parametrov modula za povezave do 80km: XQSLN9-80LY-QSFP28

Parameter	Enote	Min	Typ	Max
Signaling Speed per Lane	Gb/s	25.78125 ± 100 ppm		
Wavelengths	nm	1294.53		1296.59
		1299.02		1301.09
		1303.54		1305.63
		1308.09		1310.19
Oddajnik				
Total Average Launch Power	dBm	8		12.5
Average launch power, each lane	dBm	2	4	6.5
Difference in launch power between any two lanes (Average and OMA)	dBm			3
Extinction Ratio (ER)	dB	6		
RIN OMA (~ TX OSNR)	dB/Hz			-130
Sprejemnik				
Average receiver power, each lane	dBm	-28		-7
Receiver power, each lane (OMA)	dBm			-7
Receiver sensitivity Average ¹ , each lane	dBm			-28
Max Power consumption	W		5	5.5

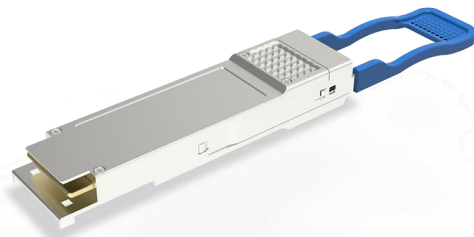


- Brezbarvni (~1290-1310 nm)
- Dinamika >30dB, Doseg 80Km
- $P_d < 5.5W$
- QSFP28

1 Rx Občutljivost pri BER@5E-5 kar nam z uporabo RS-FEC zagotovi BER<10E-12

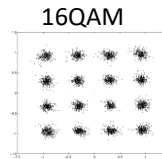
QSFP28 100G - PAM4 (Inphy ColorZ)

- PAM4: 100Gb DWDM:
 - Dva nosilca znotraj standardnega 100GHz pasu ($\lambda_c \pm 25\text{GHz}$)
 - Oddajni nivo -10dBm na nosilec, Sprejemni nivo -2dB na nosilec
 - Ne deluje brez zunanega optičnega ojačanja
 - Zahteva precizno kompenzacijo kromatske disperzije.
Preostala **disperzija max +/-100ps**.
 - Zahteva **OSNR > 31dB**
 - Uporablja PAM4 prenos in dva optična nosilca znotraj standardnega 100GHz DWDM kanala
 - Omogoča cenovne ugodne izvedbe sistemov ki prenašajo od 3 do 40 povezav po 100Gb med lokacijama oddaljenima **do 80km**
 - Pakiran v QSFP28 ohišje s porabo med **3.5 do 5W**, kar omogoča delovanje v večini standardnih stikalih



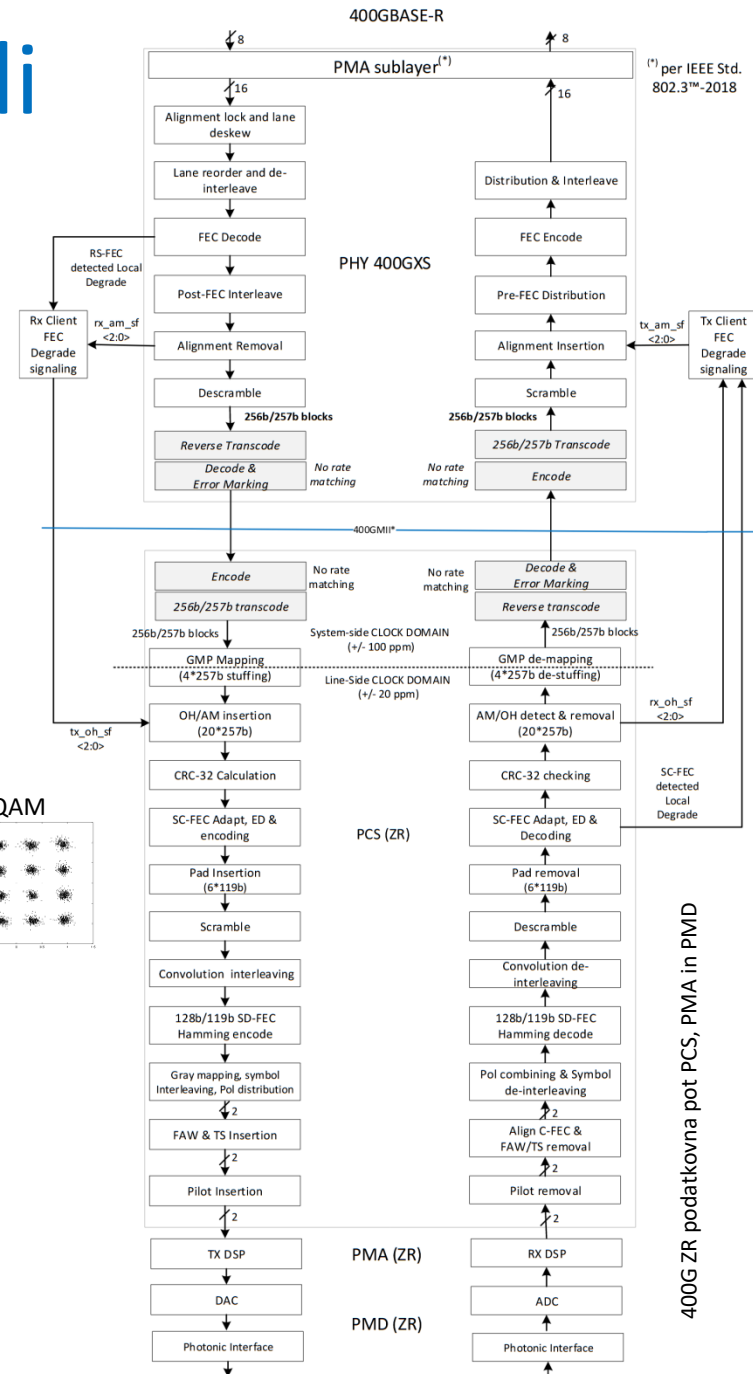
Koherentni vtični moduli

- Edina resna alternativa za WDM prenos na večje razdalje na valovnih dolžinah izven O pasu (1310nm)
- Prvotno so bile koherentne rešitve na voljo le v CFP pakiranjih predvsem zaradi visoke porabe (do30W) in nizke integracije.
- V začetku 2020 so se pojavile prve izvedbe Koherentnih modulov v QSFP-DD pakiranju. Te danes prevladujejo. Nove instalacije uporabljajo v več kot 90% prav koherentne 400G ZR ali 400G ZR+ QSFP-DD vmesnike. CFP moduli so sedaj smiselni le za posebne aplikacije (OTN prenos).
- Sedaj sta dobavljiva Dva glavna tipa QSFP-DD koherentnih modulov:
 - **400Gb ZR** prva verzija specificirana v OIF Implementation agreement 400ZR (marec 2020), deluje samo v 400Gb načinu z CFEC z DP-16QAM modulacijo
 - **400Gb ZR+** združuje iniciative OpenROADM in definiran v OpenZR+ MSA Spec. V2.0, prvič objavljena verzija V1 Sept. 2020



Skupne Lastnosti vseh koherentnih modulov

- Uporaba nastavljivega laserja kot lokalnega oscilatorja – omogoča nastavljanje kanala na katerem deluje sprejem in oddaja
- Uporaba kompleksnih modulacij, ki prenašajo več bitov (3,4,..) v simbolu in tako bolj učinkovito izkorišča pasovno širino vlakna
- Prenos samo Ethernt protokolov, opuščeni so OTN protokoli
- Implementacija večine podatkovnih protokolov zvedena v DSP, izven je le je optični del v obliki photonskega IC, ki implementira laser in quad. modulatorje/demodulatorje in optično multipleksiranje.
- Sposobni kompenzirati visoke nivoje kromatske disperzije, PDL, SOP in drugih deformacij signala, ki se zgodijo v optičnem vlaknu, zato lahko delujejo v sistemih brez zunanjih kompenzacijskih naprav n adolge razdalje
- Moduli večinoma še vedno zahtevajo zunanje optično ojačanje
- V večini je degradacija OSNR tista, ki omejuje doseg teh modulov

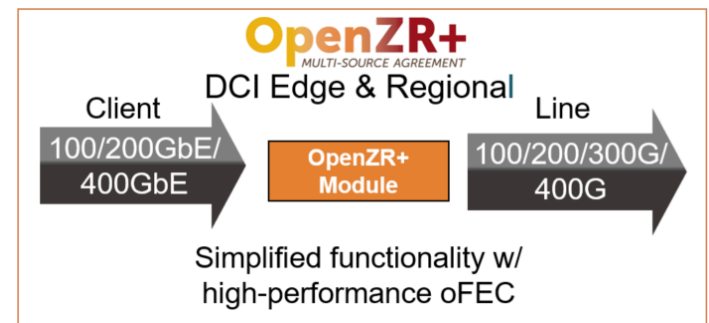


Koherentni 400G ZR - glavne lastnosti

Parameter	Vrednost	Komentar
Valovne dolžine delovanja	50 GHz Mreža / 75 GHz Pas. Širina	100 GHz in 75GHz mreža podprti
Modulacija Liniska stran , Baud Rate	DP-16QAM 59.84375 Gbaud/s	
TX OSNR znotraj pasu	34 dB	Za 0.1nm pasovne širine (12.5 GHz)
TX OSNR izven pasu	23 dB	Znotraj celotnega frekvenčnega področja
Line side Lane, FEC	SC-FEC	OSNR (B-B) = 26 dB
Tx Output Power, Typ	-9 dBm	-10 dBm min
Vmesnik klijenta	400 GAUI8	53.125 Gbps, PAM4 KP4 RS FEC (OIF CEI 56-MR)
Rx OSNR Toleranca	26 dB	
Rx Občutljivost	-12dBm TYP	-18 dBm razširjen obseg, s slabšo OSNR toleranco, omejen s šumom
CD toleranca	2400 ps/nm	do 120 km G.652 cable
Frekvenčni pas	191.3 to 196.1 THz	75 or 100 GHz raster
Temperatura ohišja	0 to 75°C	
Total Power Consumption	≤ 19 W	Temp. ohišja 75°C
Napajanje	3.135 V to 3.465 V	

- Deluje le v enem načinu dela: z modulacijo DP-16QAM za prenos 400Gb/s
- Vmesnik proti stikalu podpira tudi en sam način dela 400G GAUI-8
- OSNR toleranca 8dB > majhno število ojačevalnih stopenj predno je OSNR toleranca omejitev dosega
- Dodatno znižanje OSNR tolerance za do 2.8dB možno zaradi mejne vrednosti CD<2400, mejne vrednosti PMD<10ps, velike razlike dušenja odvisne od polarizacije (PDL<3.5dB), velike hitrosti vrtenja polarizacijskih ravnin (SOP<50Krad)
- Odpornost na CD omejuje doseg na največ 120km
- Sprejemna občutljivost -12dBm, da ohrani OSNR toleranco
- Brez optičnega ojačanja lahko dosega le okoli 20-km dosega, zato to ni smiselna uporaba
- Visok šum izven delovnega pasu – koristno uporabiti pasovno filtriranje
- Na voljo je tudi HiPower verzija 400G ZR, lahko oddaja z 0dBm moči, ostale parametre pa ima enake ta ima doseg brez optičnega ojačanja od 60-80km

400G ZR+



- Združene izbrane funkcije iz dveh preverjenih projektov: OpenROADM in 400ZR
- Dobimo modul, ki je sposoben prenašati Ethernet protokole s hitrostmi od 100, 200, 300 in 400Gb in to bolj zanesljivo zaradi uporabe bolj učinkovitih posopkov korekcije napak
- Sodobni koherentni moduli (OpenZR+) uporabljajo bolj kompleksne modulacije in oFEC korekcijo
 - za linijsko hitrost 100Gb in 200Gb tipično DP-QPSK, DP-8QAM
 - za linijsko hitrost 300 Gb tipično DP-8QAM
 - za linijsko hitrost 400 Gb tipično DP-16QAM

400G ZR+ glavne lastnosti

primerjava Specifikacije Standardega OpenZR+ in specifikacij dejanske izvedbe 400G ZR+ (Xenopt XKDT84-JOLY)

- Djanske izvedbe OpenZR+ kot 400G ZR+ lahko presegajo predpisane mejne vrednosti v OpenZR MSA, poleg tega pa lahko izvajajo še dodatne funkcije kot so npr. Skadnost z 400G ZR in optično ojačanje TX signala ...

Skupne lastnosti:

Parameter	Vrednost po OpenZR+	Vrednost (Xenopt Hi power)	Komentar
Frekvenčni obseg	C-Band: 191.3 to 196.1 THz		
Val. dolžina	Flex grid 6.25 GHz resolution		Podprt 75 in100 GHz spacing
Min pasovna širina kanala	75 GHz		Minimalna razmik kanalov 75 GHz
Podprti načini delana linijski strani	400Gb-CFEC-16QAM (400G 16QAM ZR) (samo Xenopt), 400Gb-OFEC-16QAM (400G 16QAM ZR+), 300Gb-OFEC-8QAM (400G 8QAM ZR+), 200Gb-OFEC-QPSK (200G QPSK ZR+), 100Gb-OFEC-QPSK (100G QPSK ZR+)		Deluje z drugimi OIF ZR in Open ZR+ skladnimi moduli
Linijski FEC	oFEC, cFEC 400GE: 400 GAUI-8, 4x100GE: 4x100GAUI-2, 3x 100GE: 3x100GAUI-2, 2x200GE: 2x GAUI-4, 100GE: 100GAUI-2,100GE: CAUI-4		Po IEEE Std 802.3 [5], Annex 83E, Table 83E-7

- DWDM C-Band delovanje z nastavljivim kanali
- Vsak ZR+ modul lahko deluje v naslednjih načinih:
 - 400G – 400G GAUI8
 - 400G – 4x100G GAUI2
 - 400G – 2x 200G
 - 300G – 3x 100G GAUI2
 - 200G – 1x 200G GAUI4
 - 200G – 2x 100G GAUI4 ali CAUI4
 - 100G – 1x 100G GAUI4 ali CAUI4
- OpenZR+ specifikacija ne zahteva skladnosti z 400G ZR, ker ne zahteva podpore CFEC, kljub temu je večina izvedb 400G ZR+ skladna tudi z 400G ZR

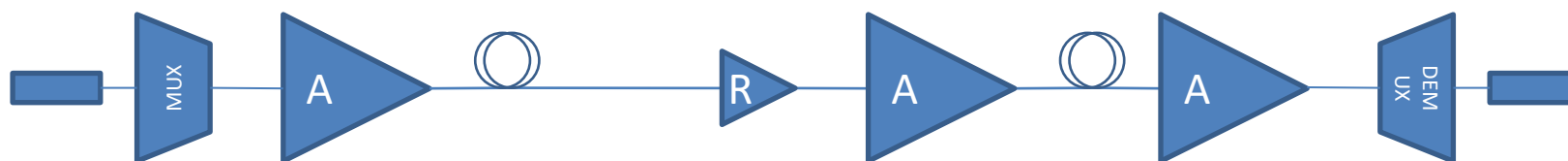
400G ZR+ glavne lastnosti (nadaljevanje)

Parameter	Vrednost po OpenZR+	Vrednost (Xenopt Hi power)	Komentar
Linijski FEC	oFEC, cFEC		
TX Moč	-13 to -9 dBm	-6 to 1 dBm	+1db tolerance
TX Moč typ	-10dBm	0dBm	
TX OSNR (in band)	34dB/0.1nm	40dB/0.1nm	
TX OSNR izven kanala	23 dBm	35 dBm	
RX občutljivost, 400G, 300G, 200G, 100G ne ojačan signal	-12, -15, -18, -18 dBm (OpenZR+ ne določa verjetno je višja)	-23, -26, -30, -32 dBm	OSNR >35dB/0.1nm, 400G 16QAM
RX občutljivost 400G, 300G, 200G, 100G ojačan signal	-12, -15, -18, -18 dBm	-18 to 0 dBm	Za OSNR znotraj spodnjih meja
RX OSNR toleranca 400G, 300G, 200G, 100G ojačan signal	24, 21, 16, 12,5 dB/0.1nm	25.0, 23.5, 15.0, 12.0 dB/0.1nm	Za standardne RX vhodne nivoje,
CD Tolerance (ZR)	+2400 ps/nm	+2400 ps/nm	Do 120 km prek G.652 v ZR načinu
CD Tolerance (ZR+) 400G, 300G, 200G, 100G	20000,40000, 50000,100000 ps/nm	12000,18000, 24000,48000 ps/nm	Xenopt do 650 km prek G.652 OpenZR+ do 1100 km za 400G 16QAM, prek G.652 na nižjih hitrostih več
Poraba	Ni določena	22W (19W Typ)	

- OSNR toleranca 8dB > majhno število ojačevalnih stopenj predno je OSNR toleranca omejevalna dosega
- OSNR toleranca je boljša pri 400Gb ZR+ kot pri nižjih hitrostih in znaša 10 / 15 dB
- OpenZR+ MSA predvideva nizke OSNR izven kanala, ki znaša le 23 dB (11dB manjši kot v kanalu zato je za standardne module še bolj pomembni zagotoviti filtriranje tudi za neojačane povezave
- Dodatno znižanje OSNR tolerance za do 2.8dB možno zaradi mejne vrednosti CD<2400, mejne vrednosti PMD<10ps, velike razlike dušenja odvisne od polarizacije (PDL<3.5dB), velike hitrosti vrtenja polarizacijskih ravnin (SOP<50Krad)
- Odpornost na CD v v obeh primerih velika, tako da bo domet običajno omejen z OSNR dinamiko
- Brez optičnega ojačanja lahko standardni ZR+ dosega le okoli okoli 30km dosega, zato to ni smiselna uporaba za direktne povezave. Specifikacija OpenZR+ ne specificira boljše občutljivosti ob najboljšem možnem OSNR, zato je ta razdalja le ocena.
- Hi power ZR+ omogoča 23 dB dinamike v neojačanem načinu dela, kar omogoča delo na razdalje od 80 do 100km brez ojačanja.

Ukrepi za prilagoditev optičnega sistema

za uspešno izvedbo ZR+ povezav



- Optično ojačanje je potrebno zagotoviti z nizkim dodanim šumom
 - Izračunati vpliv optičnih ojačevalcev na OSNR Če je ta pod OSNR toleranco modulov je potrebno Zmanjšati vpliv ojačevalcev na OSNR z naslednjimi ukrepi
 - Povišati nivoje signalov na vseh
 - Povečati moč na oddaji
 - Zmanjšati število kanalov
 - če to ni mogoče skrajšati trase, oz dodati vmesne lokacije za optično ojačanje
 - če to ni ogoče je potrebno na kritičnih mestih uporabiti kombinacijo RAMAN in EDFA ojačevalcev
- Upoštevati je potrebno dejanski vpliv CD, PDL, PMD na poslabšanje OSNR
 - Dovoljene Mejne vrednosti vsakega od teh parametrov znižujejo OSNR odpornost za 0.5 do 2.3dB
- Odstraniti je potrebno vse komponente, ki ne zagotavljajo vsaj 75GHz pasovne širine kanala (kanalizirane Bgagg DCM module, 50GHz filtre, interleaverje ...)
- Poskrbeti, da ne prihaja do presluhov iz drugih kanalov
- Poskrbeti da ne prihaja do nelinearnih pojavov (Briulin, Raman, intermodulacija)
- Tudi v neojačanih sistemih je koristno uporabiti 100GHz filtre, da izločimo motnje izven pasu.

Diagnostika povezav

- Diagnostiko lahko izvajamo direktno na komunikacijski opremi, ki jo 400G ZR/ZR+ povezuje
 - CLI ukazi, ki prikažejo parametre, ki kažejo na kvaliteto optične povezave
 - SNMP, orkestracija
 - Na večini stikal dostopna tudi programsko kot json ali Netconf/Yang ...
- Različen postopek za aktiviranje in za nadzor
- Prioritetni vrstni red indikatorjev
 - Error rate (post FEC)
 - Pre FEC error rate
 - OSNR na liniji
 - OSNR na klientni strani

Primer dela izpisa statistike priključka:

```
PCS statistics                               Seconds
  Bit errors                                 0
  Errored blocks                             12
Ethernet FEC Mode :                           FEC91-RS544
Ethernet FEC statistics                       Errors
  FEC Corrected Errors                       179
  FEC Uncorrected Errors                     12
  FEC Corrected Errors Rate                  0
  FEC Uncorrected Errors Rate               0
Optic FEC Mode :                               CFE
Optic FEC statistics:
  Corrected Errors                           20548530872257
  Uncorrected Words                          0
  Corrected Error rate                       490045240
  Uncorrected Error rate                     0
  Corrected Error Ratio (46063 seconds average) 9.99e-04
PRBS Mode : Disabled
Interface transmit statistics: Disabled
Link Degradate :
  Link Monitoring                            : Disable
```

Del izpisa optičnih parametrov koherentnega modula

```
Lane 0
Laser bias current           : 251.496 mA
Laser output power          : 0.169 mW / -7.71 dBm
Laser temperature           : 65 degrees C / 149 degrees F
Laser receiver power        : 0.048 mW / -13.14 dBm
Lane chromatic dispersion   : 0.0 ps/nm
Lane differential group delay : 3.0 ps
Lane carrier frequency offset : -54.0 MHz
Lane polarization dependent loss : 0.3 dB
Lane snr                     : 17.7 dB
Lane Optical signal-to-noise ratio : 36.4 dB
```

Diagnostika povezav (2)

- Nekatera stikala podpirajo ukaze, ki (prek CMIS MDB ukazov) podpirajo generiranje testnih (PRBS) tokove prometa pri polni hitrosti medija
- Iz diagnostičnih izpisov lahko vidimo dejanske vrednosti parametrov linije, ki vplivajo na znižanje OSNR tolerance in na osnovi tega bolj natančno izračunamo rezervo pri OSNR.
- Glede na nivoje optične moči signalov, nivoje OSNR ter pogostost napak lahko sklepamo na vzrok.
- Če prihaja do napak preverimo da so:
 - optični nivoji znotraj meja
 - temperature modula znotraj dovoljenih
 - modul spoznan in označen kot delujoč (da na moduli ni aktivnega alarma)
 - OSNR nad minimalno zahtevanim
 - Pre FEC rate pod pragom sposobnosti FEC algoritma
 - Pri spremembah na liniji prvo opazujemo spremembo FEC statistike, Potem OSNR
 - Zelo majhne spremembe OSNR lahko povzročijo velike spremembe v naraščanju ali padanju števila napak (popravljivih in nepopravljivih)
- Pri delujoči liniji imamo več stopenj zgodnjih opozoril, ki kažejo na slabšanje kvalitete povezave veliko prej, predno lahko to vpliva na samo komunikacijo.

Del izpisa detaljnega izpisa optičnih parametrov

```
Tunable param init:      true
Wavelength Tunable:     true
Tunable(fc contr1):     false
Tunable(wl contr1):     false
Tunable(First 100 Freq[THz]): 191.3
Tunable>Last 100 Freq[THz]: 196.1
Tunable(First 100 ch):   -18
Tunable>Last 100 ch):   30
Tunable(First 75 freq[THz]): 191.3
Tunable>Last 75 freq[THz]): 196.1
Tunable(First 75 ch):   -72
Tunable>Last 75 ch):   120
Tunable(First 6.25 freq[THz]): 191.275
Tunable>Last 6.25 freq[THz]): 196.125
Tunable(First 6.25 ch):  -292
Tunable>Last 6.25 ch):  484
Grid Spacing[Ghz]:     100
Encoded Range:         0
Tuned Frequency[THz]:  193
Tuned Wavelength[nm]:  1553.33
Pending Wavelength[nm]: 1553.33
Wavelength Is Pending?: 0
Tuned Channel Raw:     -1
Config Channel 2s Compl: 1
Chromatic Dispersion[ps/nm]: 4
SOPMD[ps^2]:          31
Pdl[dB]:               0.3
Carrier Frequency Offset[MHz]: -312
Diff Group Delay[ps]:  1
Electrical SNR[dB]:    17.3
Optical SNR[dB]:       36.4
Rx Power[mW]:          0.042
Tx Power[mW]:          0.1674
```

root@acx-test:pfe>

IPoDWDM paketni transportni sistemi

- Trend izgradnje paketnih transportnih sistemov, ki prenašajo le IP promet in nadomeščajo klasične L1 transportne sisteme
- Povezave Točka-Točka z DWDM hitrimi vtičnimi moduli (Nx 100 do Nx400Gb/s ...)
- Moduli vtaknjeni direktno v komunikacijska stikala, brez transponderjev.
- Dodan le optični del transportnega sistema (mux/demux, ojačevalniki) in pasivni optični sistem, ki zagotavlja premoščanje sosednjih usmerjevalnikov z nekaj povezavami, klahko zagotovijo dodatno stopnjo redundantnosti
- Stikala poganjajo usmerjevalni protokol (tipično BGP in/ali OSPF), ki zagotavlja redundantnost povezav
- Uporabniške povezave zagotovljene ali s tuneliranjem L2 ali L3 tunelov prek L3 omrežja (VXLAN, EVPN) ali z MPLS EVPN povezavami.
- Orkestracija omrežja zagotavlja hitro samodejno vzpostavitev logično ločenih L2 in L3 povezav
- Nadgradnja pasovne širine s postopnim dodajanjem dodatnih DWDM povezav, brez motenj delovanja transportnega sistema
- Možna uporaba cenovno ugodnih stikal namenjenih uporabi v podatkovnih centrih z določenimi omejitvami glede strukture prometa, ki omogočajo izogibanje ozkim nastanku ozkih grl. Ta stikala zagotavljajo ugodno ceno glede na prenosno hitrost in nizke zakasnitve

Zaključek

- Hitri vtični moduli, posebno koherentni, so kompleksne naprave, ki jih je potrebno uporabiti pravilno, da delajo dobro in zanesljivo prenašajo promet brez napak. Pri pravi uporabi lahko opozorimo na slabšanje linije preden to povzroči prekinitev komunikacije
- Sedaj so klasični transportni sistemi postali manj relevantni, še posebno če rabimo le paketne prenose podatkov
- Izgradnja paketnih transportnih sistemov s popolno diagnostiko in je postala bistveno cenejša in bolj enostavna. Taki sistemi so lahko bolj robustni in bolj zanesljivi od klasičnih. Pasovna širina je z novimi moduli postala bistveno cenejša, postopno prilagajanje naraščanju potreb pa lažje.
- Razvoj teh modulov se je šele dobro začel (<2 leti) in trenutno smo še v začetni fazi zelo hitrega razvoja, ki ga spodbujajo največji porabniki (cloud providerji), in nove aplikacije v podatkovnih centrih (AI). Trenutno so ozko grlo prej ponudniki hitrih stikal kot kapaciteta prenosa. Na vidiku pa so rešitve za vmesnike za dolge linije s hitrostmi 800 Gb, 1600 Gb in 3200Gb, ki so videti rešljive že s sedanjo tehnologijo hitrih vtičnih modulov.